

Engineering Materials and Technology. 2007, V. 129, P. 505-512. DOI: 10.1115/1.2744430.

2. M.A.G. Calle, L.M. Mazzariol, M. Alves. Strain rate sensitivity assessment of metallic materials by mechanical indentation tests // Materials Science & Engineering A. DOI: org/10.1016/j.msea.2018.04.023.

3. Jun Lu, Subra Suresh, Guruswami Ravichandran. Dynamic indentation for determining the strain rate sensitivity of metals // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2003, V. 51, P. 1923–1938.

4. Tabor D. The Hardness of Metals. Oxford University Press, 2000. 175 p.

УДК 621.317.799:621.382

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО КОММУТАТОРА

Лисенков Б.Н., Грицев Н.В.

ОПО «МНИПИ»

Минск, Республика Беларусь

В работе представлен автоматизированный измерительный комплекс для контроля параметров тестовых структур при испытаниях изделий микроэлектроники на радиационную стойкость, представленный на рисунке 1.

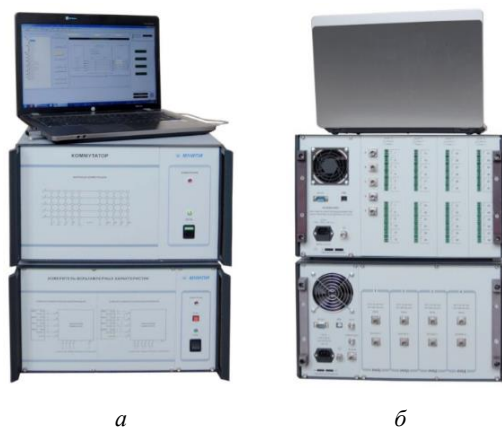


Рисунок 1 – Автоматизированный измерительный комплекс для контроля тестовых структур в составе измерителя ВАХ, матричного коммутатора и внешнего ПК:

а – вид со стороны передней панели;  
б – вид со стороны задней панели

Обмен информацией измерителя ВАХ и матричного коммутатора с ПК осуществляется по интерфейсу USB. Для обмена информацией с ПК через интерфейс RS 485 в процессе радиационного эксперимента используются преобразователи UPORT 1130 и кабели длиной 20 м из комплекта принадлежностей комплекса.

Комплекс разработан для центра коллективного пользования «Радиационный центр» при ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» в рамках подпрограммы «Уникальное научное оборудование» ГНТП «Эталоны и научные приборы».

Комплекс состоит из: четырехканального измерителя вольтамперных характеристик (ВАХ), матричного коммутатора (5×48) и специализированного программного обеспечения (ПО) COMPLEX для внешнего персонального компьютера (ПК), которое работает под операционной системой не ниже Windows XP [1].

Работа с ПО COMPLEX не требует знаний в области программирования при проведении измерений и при подготовке программ автоматизированного контроля.

В состав комплекса также входят два устройства присоединительных (УП) для подключения тестовых структур к портам коммутатора. Первое предназначено для работы в лабораторных условиях, а второе (УП1) – для работы в удаленной испытательной камере в условиях радиационного эксперимента.

Измеритель ВАХ разработан на базе отечественного четырехканального измерителя ИППП-1/6. По сравнению с ИППП-1/6, чувствительность измерителя ВАХ по току повышена до 10 фА (в 10 раз). Также повышена его устойчивость при работе на емкостную нагрузку и на длинный кабель (для учета емкости цепей коммутатора).

Для сокращения общей длины триаксиальных кабелей в составе комплекса, входные и выходные разъемы измерителя перенесены на заднюю панель, как видно из рисунка 1, б.

На передней панели измерителя изображены схемы его подключения к матричному коммутатору, одна из которых предназначена для однопроводных, а другая для двухпроводных измерений, как показано на рисунке 1, а. Возможность использования любой из этих схем в режиме автоматизации предусмотрена в ПО COMPLEX.

Остальные параметры измерителя ВАХ соответствуют параметрам ИППП-1/6.

Поскольку в странах СНГ отсутствует опыт по разработке и производству матричных коммутаторов, основное внимание при создании комплекса было уделено вопросам построения коммутатора, вопросам задания конфигурации его узлов, вопросам контроля работоспособности большого количества герконов в составе коммутатора, вопросам метрологического обеспечения и автоматизации проверки параметров узлов матрицы коммутации (5×48=240).

Коммутатор содержит четыре модуля коммутации (5×12), в каждом из которых имеется (5×12=60) сдвоенных герконовых реле, установленных в узлах матрицы, и 5 таких же реле для изоляции узлов по линиям (А, В, С, D, Е).

Изолирующее реле замыкают, если должен быть замкнут хоть один из подсоединенных к нему узлов.

Всего коммутатор содержит  $5 \times 48 = 240$  узлов, параметры которых необходимо периодически проверять, путем их измерения и  $240 + 5 \times 4 = 260$  сдвоенных герконных реле, то есть всего  $260 \times 2 = 520$  герконов, работоспособность которых необходимо периодически контролировать [2].

Выход каждого из 4х источников-измерителей (ИИ), входящих в состав измерителя ВАХ, соединен с соответствующей линией матрицы коммутации (А, В, С, D). При этом линия Е служит для передачи нулевого напряжения, как показано на структурной схеме комплекса, представленной на рис. 2.

ИИ формируют испытательные сигналы тока (напряжения) на линиях коммутатора в диапазонах  $\pm 0,2$  А ( $\pm 120$  В) и одновременно, с высокой чувствительностью (10 мкВ, 10 фА), измеряют ответные сигналы напряжения (тока), возникающие на соответствующих линиях.

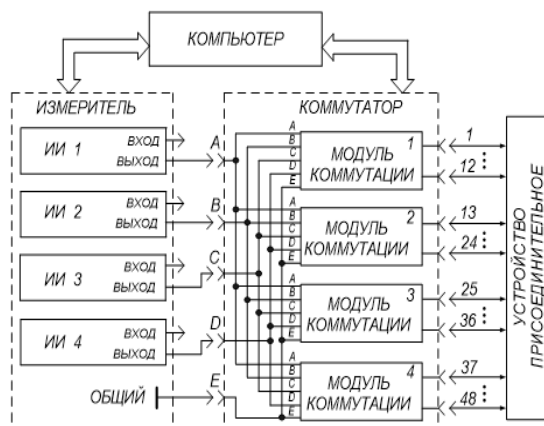


Рисунок 2 – Структурная схема комплекса

Выходы 48-ми портов коммутатора выполнены на клеммниках разъемных 15EDGRC-3.81-03Р, рис. 1, б. Применение клеммников позволяет использовать триаксиальные или более доступные коаксиальные кабели в зависимости от условий тестирования и требований к скорости и точности измерений.

Основные параметры коммутатора, определяющие его влияние на погрешность измерений, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ток смещения канала коммутации	$\leq 0,2$ нА
Напряжение смещения через 5 мин. после замыкания реле	$\leq 0,2$ мВ
Сопротивление изоляции	$\geq 10$ ГОм
Сопротивление канала коммутации	$\leq 2$ Ом

Команды управления коммутатором соответствуют стандарту SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments). Это позволяет использовать коммутатор самостоятельно (с внешним ПК), однако, для автоматизации измерений, следует разработать соответствующее программное обеспечение.

Образец комплекса изготовлен в единичном экземпляре для автоматизации проверки микроэлектронных изделий на радиационную стойкость в центре коллективного пользования «Радиационный центр».

#### Литература

- Лисенков Б.Н., Грицев Н.В. Методы и средства контроля параметров полупроводниковых изделий в процессе радиационного воздействия. Материалы 7-й МНК по военно-техническим проблемам обороны и безопасности. Минск. – Часть 1. – С. 174–181.
- Лисенков Б.Н., Грицев Н.В., Брук А.А. Проверка метрологических характеристик матричного коммутатора // Сборник научных статей 1-й МНТК «Опто-, микро- и СВЧ-электроника – 2018», Минск. – С. 82–85.

УДК 629.7.054

## ДВУХОСНЫЙ СЛЕДЯЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ Лихошерст В.В., Родионов В.И.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»  
Тула, Российская Федерация

Современный летательный аппарат (ЛА) имеет сложную систему бортового электрооборудования (ЭО), в которой особое место занимают электрические приводы (ЭП). К электроприводам ЛА предъявляются гораздо более высокие требования, чем к наземным, т. к. их работа происходит в условиях постоянно изменяющихся управляющих и возмущающих воздействий.

В докладе рассматривается двухосный следящий ЭП, работающий в режиме стабилизированного наведения, т. е. в совмещенном режиме

наведения и стабилизации (компенсации качки ЛА). Такой ЭП (рис. 1) имеет платформу, наружную рамку и электрические двигатели (ЭД) по осям карданова подвеса. Чувствительными элементами ЭП являются оптико-электронные датчики (ОЭД) и гироскопы, установленные на платформе [1].

На рис. 1 приведены следующие обозначения: НП – направление полета ЛА; ЗЛВ – заданная линия визирования, связанная с наблюдаемым объектом; (а, b/x, y) и (3/2) – преобразователи